

Les besoins énergétiques des caprins : méthodes courantes de détermination et applicabilité des résultats aux caprins de race locale du Burkina Faso

Wendinmalgdé Salomo Oualyou OUERMI^{1*}, Bila Isidore GNANDA¹,
Barkwendé Jethro DELMA¹, Nouhoun ZAMPALIGRE¹,
Valérie Marie Christiane BOUGOUMA-YAMEOGO².

Résumé

Le Burkina Faso connaît une forte croissance de la demande en aliments d'origine animale. Pour y faire face, l'accroissement de la productivité à travers une meilleure gestion de la nutrition reste l'une des options privilégiées. La présente synthèse bibliographique fait un état des lieux des connaissances sur les besoins énergétiques des caprins, pour contribuer à une meilleure productivité des systèmes d'élevage de cette espèce. Il en ressort que les conditions financières, matérielles et humaines ne sont souvent pas réunies pour l'utilisation des principales méthodes de détermination des besoins énergétiques afin de disponibiliser des données spécifiques dans ce domaine pour nos races locales. Il existe donc très peu de travaux réalisés sur les besoins nutritionnels des races caprines locales, en particulier celles du Burkina Faso. Deux tendances se défendent en la matière. L'une soutient que les besoins énergétiques de nos races locales resteraient inférieurs à ceux des races tempérées, tandis que pour l'autre, ces besoins énergétiques seraient supérieurs à ceux des races tempérées. Cette variabilité serait due autant aux différences génétiques, qu'aux conditions d'élevages. Pour améliorer la productivité et réduire l'impact environnemental de l'élevage caprin au Burkina Faso, il apparaît indispensable de déterminer les besoins énergétiques spécifiques à travers des travaux en condition d'élevage locale, avec des matériels, animal et végétal, locaux.

Mots clés : Caprins, Races locales, Besoins énergétiques, Méthodes de détermination des besoins, Climat tempéré, Climat tropical.

Energy requirements of goats: current methods of determination and applicability of results to local goats in Burkina Faso

Abstract

Burkina Faso is experiencing strong growth in demand for animal food. To meet this demand, increasing productivity through better nutrition management is one of the main options. This literature review makes

¹ Laboratoire de Recherche en Production et Santé Animales (LaRePSA)/Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)/Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 03 BP 7043 Ouagadougou 03, Burkina Faso

² Laboratoire des Systèmes naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (SyNAIE)/ Université Nazi Boni, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

* Auteur correspondant : Téléphone mobile : +226 76 14 46 46 ; E-mail : oualyou@yahoo.fr

a state of the art of knowledge on the energy requirements of goats, with the aim of contributing to a better productivity of the breeding systems. It shows that the financial, material and human conditions are often not met for the use of the main methods for determining energy requirements. There is therefore very little work on the nutritional requirements of local breeds, particularly those of Burkina Faso. Two trends are defended in this matter. One argues that the energy requirements of our local breeds would remain lower than those of temperate breeds, while the other argues that these energy requirements would be higher than those of temperate breeds. This variability is due to genetic differences as well as to breeding conditions. In order to improve the productivity and reduce the environmental impact of goat breeding in Burkina Faso, it appears essential to determine the specific energy requirements through work in local breeding conditions, with local animal and plant materials.

Key words: Goats, Local breeds, Energy requirements, Methods for determining requirements, Temperate climate, Tropical climate.

Introduction

L'élevage occupe une part importante dans l'économie des pays africains. Il représente en moyenne 15% du Produit Intérieur Brut (PIB), pouvant atteindre jusqu'à 40% dans certains pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest (CLUB DU SAHEL, 2008). Il joue un rôle crucial aussi bien dans la réduction de la pauvreté, dans l'amélioration de la nutrition, de l'équité entre les sexes, des moyens de subsistance, de la santé et dans l'augmentation de la sécurité alimentaire (ADESOGAN et al., 2020). Ces dernières décennies, marquée par une forte croissance démographique, une amélioration du revenu et par une forte urbanisation, l'Afrique connaît une augmentation de la demande d'aliments d'origine animale (BALEHEGN et al., 2021). A titre d'illustration, les résultats rapportés par ROBINSON et al. (2015) montrent que la demande de viande (bœuf, mouton, chèvre, volaille et porc) pourrait atteindre 58 millions de tonnes en 2050, soit une croissance de 280 % par rapport à celle de 2010, année de référence de cette étude.

Parmi les options préconisées pour satisfaire à cette demande dans les pays en voie de développement, celle d'appui aux producteurs pour l'amélioration de la productivité de leurs animaux reste en première position (ILRI, 2019). Ce qui requiert entre autres, une meilleure maîtrise de la nutrition de ces animaux (BALTENWECK et al., 2020). Ce solutionnement efficient de la nutrition des animaux d'élevage passe nécessairement par une meilleure connaissance d'une part, de la qualité nutritive des aliments et d'autre part, des besoins nutritionnels de ces derniers (MEDEIROS et al., 2014). Aussi, l'amélioration de l'alimentation et de son efficacité nutritionnelle permettent non seulement d'augmenter la productivité tout au long du cycle de vie et le bien-être de l'animal, mais également de réduire l'impact environnemental de l'élevage d'animaux domestiques (MC GRATH et al., 2018). En effet, à l'instar des autres ruminants domestiques, l'apport adéquat d'énergie est d'une importance capitale dans l'expression de meilleures performances des caprins, car celui-ci conditionne l'utilisation efficace des autres nutriments (NRC, 1981). En outre, en englobant les constituants majeurs de

la ration, les apports énergétiques sont les apports quantitatifs les plus importants et représentent la plus grande part des coûts alimentaires.

Les standards des besoins nutritionnels utilisés actuellement pour le rationnement de nos animaux de races locales ont été définis dans des pays ayant des climats et des conditions d'élevage assez différents des nôtres. Il s'agit principalement des standards développés par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de France et dans une moindre mesure, d'autres standards tels que ceux du National Research Council (NRC) des États-Unis d'Amérique, de l'Agricultural and Food Research Council (AFRC) du Royaume-Uni. L'utilisation de ces standards n'est pas appropriée à toutes les situations (GOETSCH *et al.*, 2016). Cette inadéquation résulte principalement des diversités de rations alimentaires, de conditions environnementales et de races animales entre les pays éditeurs et ceux qui font recours à ces normes dans leurs programmes de travail (SALAH *et al.*, 2014). C'est eu égard à cela que GOETSCH *et al.* (2016) soulignent la nécessité de mener des recherches supplémentaires pour ajuster ces recommandations aux conditions particulières d'environnement, de race, de potentiel et d'objectif de production. SILVA *et al.* (2016) s'accordent davantage avec cette idée, car pour eux la prise en compte des génotypes en présence reste une nécessité dans l'affinement des besoins énergétiques de nos caprins. Et comme l'ont rapporté KESSLER *et al.* (2017), pour réaliser un élevage économiquement rentable, il est nécessaire de connaître avec assez de précision les besoins des animaux utilisés pour produire.

La présente synthèse a été initiée en prélude à un programme de recherche sur la détermination des besoins en énergie spécifiques aux petits ruminants de races locales du Burkina Faso. Elle permet donc de faire un état des lieux global sur les connaissances des besoins énergétiques des caprins en général, d'analyser de manière spécifique leurs applicabilités aux races locales africaines, en particulier celles du Burkina Faso et de mettre davantage en évidence les éléments de pertinence du programme de recherche en la matière.

1. Bref descriptif des systèmes d'élevage des caprins en Afrique

L'élevage caprin occupe de nos jours une place considérable dans les économies nationales, car il constitue un facteur de développement économique, notamment dans les zones rurales (CHETROIU *et al.*, 2013). Les caprins contribuent fortement à l'économie familiale, à la durabilité des moyens de subsistance et à la réduction de la pauvreté (GNANDA, 2008). Du fait de leur rusticité et de leur capacité à valoriser les ressources végétales pauvres, les caprins peuvent être élevés dans des zones agro écologiques et dans des systèmes variés, voir dans les régions les plus arides. Ils jouent un rôle de subsistance dans de nombreux pays peu développés, avec un objectif dominant de production de viande (MISSOHOU *et al.*, 2016). Les systèmes d'élevage

sont souvent traditionnels (pastoral, agropastoral et sédentaire) et peu artificialisés, utilisant de faibles externalités (ALEXANDRE et *al.*, 2012). Toutefois, face à une évolution importante de la demande, on assiste de nos jours à de multiples changements. Les systèmes agropastoraux deviennent majoritaires, le pastoralisme se maintient notamment dans les zones arides et les élevages périurbains et spécialisés prennent de l'importance (VALL et *al.*, 2014).

Le point commun à ces systèmes est qu'ils sont tous tributaires des prélèvements directs sur la végétation spontanée et cultivée. La pratique de la complémentation se limite essentiellement dans les fermes périurbaines à vocations intensives. Toutefois, la saisonnalité des ressources naturelles, associées à des facteurs tels que le surpâturage, les changements climatiques, la croissance démographique et la pression foncière, etc., entraînent une offre limitée en quantité et en qualité des ressources alimentaires disponibles. Le recours à la complémentation est indispensable pour l'amélioration de la productivité des caprins. Pour que cette complémentation soit efficace, une connaissance précise des besoins nutritionnels est indispensable pour, dans un premier temps satisfaire les besoins d'entretien, puis prétendre à une amélioration de la productivité.

Au Burkina Faso, l'élevage caprin est d'une importance capitale. Du point de vue numérique, le cheptel caprin est estimé à 10 750 406 (MRAH, 2021). D'un point de vue économique, les caprins sont les plus exploités par les agropasteurs et les pasteurs (GNANDA et *al.*, 2005). Malgré cette importance, l'élevage burkinabé fait face à de nombreuses contraintes, parmi lesquelles, les problèmes d'alimentation, en particulier en saison sèche, qui entravent sa productivité (OUERMI, 2018). Les ressources alimentaires, lorsqu'elles sont disponibles, sont souvent faibles en énergie et en particulier en protéines digestibles, expliquant le recours de plus en plus fréquent à la complémentation.

2. Méthodes de détermination des besoins nutritionnels des ruminants

De nombreuses techniques ont été développées pour déterminer les besoins nutritionnels des ruminants. Parmi ces méthodes, les plus répandues sont celles « calorimétrique » et des « abattages comparatifs » (LUO et *al.*, 2004 ; JAYANEGARA et *al.* 2017). La troisième méthode relativement plus récente portant sur la « Méta-analyse », est discutée au vu de l'engouement qu'elle suscite. La dernière méthode encore plus récente que la troisième et présentée dans la présente revue, porte sur la technologie du Greenfeed (GF) qui offre des possibilités plus aisées de détermination des besoins énergétiques, en plus de son rôle d'outils de mesure des gaz entériques.

2.1. Méthode calorimétrique

La calorimétrie peut être directe ou indirecte. Dans les deux cas, elle consiste à mesurer la Production de Chaleur (PC) d'un organisme (SILVA *et al.*, 2018).

La méthode directe considère qu'il y a égalité entre PC et dépense d'énergie de l'individu. Elle permet la quantification des différentes composantes de la PC. La réalisation de la mesure nécessite une enceinte de taille réduite et hermétique ou une combinaison calorimétrique, permettant de limiter la durée tolérable des mesures.

La calorimétrie indirecte ou respirométrie repose sur l'équivalence entre l'énergie utilisée dans l'organisme (quantités d'oxygène consommée, de dioxyde de carbone produite et d'azote excrétée dans les urines) et celle convertie à partir de l'oxydation des nutriments, c'est-à-dire la quantité de chaleur produite par l'oxydation des aliments ou des composants corporels (AGNEW et YAN, 2005). Il est donc possible d'utiliser la consommation globale d'oxygène comme témoin de la dépense d'énergie. La mesure des échanges gazeux respiratoires par la méthode respirométrique (consommation d'oxygène et production de gaz carbonique) peut être réalisée en chambres calorimétriques, dans des conditions où le sujet pourra reproduire ses activités quotidiennes (KAIYALA et RAMSAY, 2011). La mesure peut également être réalisée sous une cagoule ventilée.

Toutefois, la méthode calorimétrique qu'elle soit directe ou indirecte, nécessite des moyens d'installation importants et coûteux : coût élevé en équipement, en installations, en main-d'œuvre et/ou en analyse. Par exemple, la respirométrie en mode push nécessite une chambre de calorimètre étanche aux gaz, ce qui peut être étonnamment difficile à réaliser dans les contextes à très faibles moyens. En outre, l'utilisation d'animaux à jeun peut entraîner une sous-estimation des besoins, en raison de l'activité métabolique différente des tissus chez ces derniers comparativement à celle de leurs homologues non mis à jeun (KIRKPATRICK *et al.*, 1997). Par exemple la méthode directe est actuellement peu utilisée en raison de ces limitations, car simple en théorie, mais très difficile à mettre en œuvre (AGNEW et YAN, 2005), et du nombre réduit d'institutions disposant de l'équipement nécessaire (KAIYALA et RAMSAY, 2011).

2.2. Méthode des abattages comparatifs

La méthode des abattages comparatifs permet d'étudier le bilan énergétique des animaux (MA *et al.*, 2022). La méthode utilise des essais d'alimentation pour mesurer l'apport en Energie Métabolisable (EM) d'animaux qui sont nourris à deux (ou plus) niveaux d'apports, l'un d'entre eux étant le niveau d'entretien. Au début de l'expérimentation, un lot d'animal est abattu pour déterminer la composition corporelle initiale, le reste des animaux étant abattu à la fin de l'essai. La composition corporelle des animaux des différents lots est déterminée par analyse chimique d'échantillons représentatifs de tout le corps de l'animal. Cette procédure permet de mesurer l'Energie

Retenue (ER) en fonction de l'évolution du contenu énergétique corporel des animaux. Les besoins énergétiques de l'animal sont déterminés à partir de l'équation de régression entre l'EM ingérée et l'ER (ZHAO et *al.*, 2016).

Une des limites de la méthode des abattages comparatifs est qu'elle entraînerait des variations dans l'estimation des besoins à cause de la durée de collecte de données et des interactions potentielles entre des facteurs tels que les caractéristiques alimentaires, le niveau de consommation alimentaire, le stress et les conditions environnementales (LUO et *al.*, 2004). Par ailleurs, c'est une technique destructive, laborieuse et coûteuse. Elle nécessite également un nombre important d'animaux et peut entraîner des erreurs d'échantillonnage (POSADA OCHOA et *al.*, 2017).

2.3. La méta-analyse

Plus récente que les deux précédemment décrites, la méta-analyse est une méthodologie de plus en plus utilisée, en témoigne une croissance annuelle de 15% du nombre de méta-analyses publiées en science animale (SAUVANT et *al.*, 2019). Elle exploite des données provenant de plusieurs essais, notamment sur l'ingestion et la digestibilité des nutriments, les performances de production des animaux. Les besoins nutritionnels sont déterminés en faisant une régression du Gains Moyens Quotidiens (GMQ) avec différents paramètres tels que la Matière Sèche Ingérée (MSI), les Protéines Brutes Ingérées (PBI), l'Energie Métabolisable Ingérée (EMI), etc. (SAUVANT et *al.*, 2019). Plusieurs auteurs tels que SALAH et *al.* (2014) ; OLIVEIRA (2015), JAYANEGARA et *al.* (2017) ont eu recours aux méta-analyses pour la détermination respectivement des besoins nutritionnels des ovins, des caprins et des bovins dans les pays tropicaux et chauds, des besoins énergétiques des vaches laitières en condition tropicale et des besoins énergétiques et protéiques des moutons en Indonésie.

L'une des principales limites de cette méthode est la non disponibilité effective des données spécifiques obtenues à l'issue des essais rigoureusement conduits. La méta-analyse n'est indiquée que lorsqu'une importante quantité de données sur l'alimentation ou l'apport en nutriments, la digestibilité des nutriments et les performances de production des animaux, est disponible. Ce qui n'est pas forcément le cas dans le contexte actuel où les données spécifiques sont éparées et limitées, surtout dans nos systèmes de recherche.

2.4. Utilisation du GreenFeed (GF) pour la détermination des besoins énergétiques des ruminants

Le GF est un système automatisé à chambre de tête, introduit en 2010 qui permet la mesure directe des gaz entériques tels que le méthane (CH₄), l'oxygène (O₂), le gaz carbonique (CO₂), etc. (Hammond et *al.*, 2016). L'animal est encouragé à visiter

volontairement l'unité à l'aide d'une petite quantité prédéterminée de granulés alimentaires (appât) qui lui est délivrée dans une hotte. Pendant la visite qui dure de 3 à 7 min, un flux d'air actif est induit pour capturer le souffle émis (Hristov, 2015). Cette respiration est échantillonnée pour détecter les concentrations de CH₄ et de CO₂ à l'aide d'un analyseur non dispersif dans le proche infrarouge (McGinn et al., 2021). Pour estimer l'émission quotidienne de gaz, l'animal a besoin de plusieurs visites, souvent plusieurs fois dans la même journée, sur plusieurs jours. Ensuite, les mesures ponctuelles sont utilisées pour dériver un taux d'émission moyen global pour chaque gaz. De nombreuses études ont montré la qualité et la précision des mesures effectuées à l'aide du GF (Hristov et al., 2018 ; Huhtanen et al., 2019 ; Martin et al., 2020 ; etc.) si bien que dans le domaine des inventaires entériques de méthane, il fasse partie des trois (3) principales techniques les plus utilisées, avec les chambres de respiration et le traceur hexafluorure de soufre (SF₆).

Les performances du GF en matière de mesure des gaz entériques permettent son utilisation dans la détermination des besoins énergétiques des ruminants. Pour ce faire, la formule de Bouwer (1965) permet à partir des mesures des gaz entériques réalisées par le GF, de calculer la Production de Chaleur (PC). La détermination des besoins énergétique se fait par l'utilisation de la relation entre la PC et l'Energie Métabolisable Ingérée (EMI). Ainsi, une équation de régression linéaire entre le logarithme de PC (y) et EMI (x), $\text{Log PC} = a + b \times \text{EMI}$, est utilisé pour établir le besoin en Energie Nette pour la maintenance (EN_m) qui correspond à l'antilogarithme du point d'interception au niveau zéro de MEI (Lofgreen et Garrett 1968 ; Posada-Ochoa et al., 2017). Quant à l'Energie Métabolisable pour la maintenance (EM_m), il est calculé de manière itérative, à partir de l'équation de régression linéaire précédemment obtenue, au point où PC correspond à EMI (Posada-Ochoa et al., 2017).

3. Besoins énergétiques des caprins

3.1. Besoins énergétiques d'entretien

La connaissance des besoins d'entretien est d'une importance capitale, car ils représentent 50 à 70% de l'énergie contenue dans la ration alimentaire du bétail (SEOL et al., 2011).

3.1.1. Premières estimations des besoins énergétiques d'entretien des caprins

Il ressort de la bibliographie que la première évaluation des besoins énergétiques d'entretien des chèvres a été réalisée en condition thermique neutre en 1965 par ARMSTRONG et BLAXTER (MC GREGOR, 2005). De ces premiers travaux, les besoins d'entretien énergétiques ont été estimés à 312 (kJ) EM /kg Poids Vif (PV)^{0.75} par jour. Par la suite, ce sont les besoins énergétiques d'entretien édités à l'issue des

travaux du NRC en 1981 qui ont longtemps servi de données de référence pour la nutrition des chèvres (MC GREGOR, 2005). Ces besoins estimés à l'époque à une valeur moyenne de 424,17 kJ EM/ kg PV^{0,75}, ont été obtenus grâce une synthèse bibliographique élaborée sur des données expérimentales provenant de 10 publications parues entre 1950 et 1980 (LUO et *al.*, 2004).

KEARL (1982) à l'aide également d'une synthèse effectuée sur plusieurs études impliquant différentes races caprines, a obtenu une valeur comprise entre 368,24 à 488,27 kJ EM/ kg PV^{0,75}, avec une moyenne de l'ordre de 432,83 kJ EM/ kg PV^{0,75} pour des chèvres non allaitantes et celles dont la gestation n'excède pas trois mois. Quelques années plus tard, SAUVANT et MORAND-FEHR (1991) ont également réalisé une synthèse des principaux résultats de l'époque issus de 21 expérimentations (14 tests de digestibilité et neuf tests calorimétriques) effectuées dans diverses conditions d'élevages et avec des races différentes. Ils sont parvenus pour les besoins énergétiques d'entretien à la valeur moyenne de 445 kJ EM / kg PV^{0,75}. Certes, les valeurs moyennes relevées entre les résultats des 21 publications ayant permis d'obtenir la valeur de 445 kJ EM / kg PV^{0,75} étaient similaires, mais les écarts observés d'une étude à l'autre étaient considérables. En effet, ces auteurs ont constaté de très grandes fourchettes allant de 290,57 kJ à 554,25 kJ EM / kg PV^{0,75}. ZEMMELINK et *al.* (1985) justifiaient en partie ces différences par le fait que certaines des valeurs citées se référaient aux chèvres laitières en lactation, tandis que d'autres valeurs se référaient aux chèvres à viande.

Des facteurs de correction ont été en outre suggérés pour prendre en compte certains paramètres. Pour les périodes de repos et de saillie, le métabolisme de base des boucs en stabulation étant plus élevé, les besoins d'entretien étaient majorés de 10% et 15 % respectivement en période de repos et de saillie (MORAND-FEHR et SAUVANT, 1978). Aussi, sur parcours naturels, NRC (1981) a recommandé une majoration du besoin d'entretien des animaux de 25 à 75 % en fonction du type de déplacement. En l'absence de précisions sur le relief du pâturage, les dépenses strictes d'activité ont été estimées à 2,016 kJ EM / km / kg PV (BECKER et LOHRMANN, 1992).

3.1.2. Besoins énergétiques d'entretien rapportés spécifiquement sur les races caprines africaines

D'une manière générale, les caprins des élevages tropicaux ont fait l'objet de peu d'études approfondies et spécifiques en termes de détermination des besoins. Dans la plupart des cas, ce sont les normes européennes et américaines qui sont utilisées.

Pour ce qui est des données spécifiques aux races caprines africaines, des auteurs tels ZEMMELINK et *al.* (1985, 1991), ABATE (1989), HATENDI et *al.* (1994), etc. font partie des premiers à effectuer des travaux sur les besoins nutritionnels. Déjà en 1985, les résultats préliminaires obtenus par ZEMMELINK et *al.* (1985) suite à une étude sur l'ingestibilité et les gains de poids, suggéraient que pour les chèvres Naines d'Afrique

de l'Ouest (NAO), les estimations de besoins énergétiques d'entretien de NRC (1981) étaient appropriées. Ces auteurs ont estimé ces besoins à 411 EM kJ/ kg PV^{0,75} pour la chèvre NAO nourris à la ferme.

Une autre étude conduite par ZEMMELINK *et al.*, 1991 sur les besoins énergétiques d'entretien et de croissance des chèvres NAO logées dans des cages à métabolisme et nourries à volonté, a abouti à 24,3 g de Matière Organique Digestible (MOD), soit 384 EM kJ/ kg PV^{0,75}. Par rapport aux écarts des résultats constatés par suite de cette étude, ces auteurs ont estimé que cela était en partie lié aux différences de conception expérimentale et de méthodes d'analyses de données.

Plus récemment, OKAGBARE *et al.* (2004) ont également effectué des travaux sur 21 chèvres NAO précocement sevrés. Les besoins énergétiques d'entretien obtenus étaient de 243,5 kJ, 266,52 kJ, 412,12 kJ et 479,48 kJ d'Energie Digestible (ED) / kg PV^{0,75} respectivement pour les animaux âgés de quatre, six, neuf et 13 semaines. En utilisant les coefficients de conversions fournis par GARRETT *et al.* (1959) tel que 100 Méga calories (Mcal) EB = 76 Mcal ED = 62 Mcal EM = 35 Mcal Energie Nette (EN)), on obtenait 198,65 kJ EM/ kg PV^{0,75} ; 217,42 kJ EM/ kg PV^{0,75} ; 336,3 kJ EM/ kg PV^{0,75} et 391,16 kJ EM/ kg PV^{0,75} respectivement pour les animaux âgés de quatre, six, neuf et 13 semaines. Ce qui semble traduire une certaine logique selon laquelle les besoins énergétiques s'accroissent au fur et à mesure que l'animal croît.

Pour ce qui est des races locales d'Afrique de l'Est et du Sud, ABATE (1989) a conduit un essai d'alimentation en milieu contrôlé sur 20 chèvres kenyanes âgées de sept mois et d'un poids vif moyen de 13 à 18 kg. Il est parvenu à estimer l'EM ingéré grâce à un essai *in vitro* et a évalué les besoins énergétiques d'entretien à 556 kJ EM/ kg PV^{0,75}.

Les travaux de HATENDI *et al.* (1994) ont également porté sur une race indigène dans la même zone. Il s'agissait de caprins castrés du Zimbabwe (de race « matabele »). Deux valeurs d'EM ont été obtenues par ces auteurs. La première valeur de 519 kJ / kg PV^{0,75} par jour, a été calculée en faisant une régression entre l'Energie Métabolisable Ingérée (EMI) et l'évolution pondérale. La seconde valeur de 482 kJ / kg PV^{0,75} par jour, a été obtenue par régression entre l'évolution pondérale et l'EMI. Ces auteurs ont estimé que ces valeurs pouvaient être utilisées pour des races similaires d'Afrique de l'Est et du Sud, conduites suivant les systèmes d'élevage similaires.

A travers une méta-analyse d'une importante base de données de la littérature constituée de 590 publications, consacrées principalement aux races indigènes et métisses (indigènes * non indigènes) des pays tropicaux et chauds, SALAH *et al.* (2014) ont évalué les besoins d'entretien à 542,64 kJ EM / kg PV^{0,75} pour les petits ruminants.

3.2. Besoins énergétiques de Production

3.2.1. Besoins énergétiques de croissance

Les besoins énergétiques de croissance varient avec la composition corporelle et le gain de poids, en particulier sa teneur en lipides (INRA, 2018). Leur estimation a connu, des évolutions suivant les périodes.

Les références bibliographiques disponibles montrent que c'est la valeur de besoin de 30,3 kJ EM par g de croît issue des recommandations du NRC (1981) qui a été longtemps utilisée. L'estimation de ce besoin de 30,3 kJ EM par g de croît (NRC, 1981) a été basée sur trois valeurs originales de la littérature (42,6 kJ ; 21,5kJ et 26,9 kJ) obtenues à partir de travaux effectués sur des chèvres indigènes malaisiennes (DEVANDRA, 1967), des chèvres NAO (AKINSOYINU, 1974) et de diverses races caprines indiennes (RAJPOOT, 1979). Cependant, une des critiques de la valeur recommandée de 30,3 kJ EM par g de croît du NRC (1981), reste le fait qu'elle a été obtenue par simple établissement de moyenne alors que les résultats des trois sources utilisées présentent un coefficient de variation élevé de 36 % entre eux (ZEMMELINK et *al.*, 1985). C'est la raison pour laquelle pour affiner ces résultats, de nombreux auteurs ont poursuivi des investigations, en prenant en compte un certain nombre de facteurs tels que l'environnement, la race et le climat.

Ainsi, les résultats des travaux de ZEMMELINK et *al.* (1985) et ZEMMELINK et *al.* (1991), effectués sur la chèvre NAO élevée en zone tempérée, semblent illustrer en partie la prise en compte de ces facteurs de variation. En effet, ces auteurs ont obtenu des besoins énergétiques de croissance estimés à 38,1 kJ EM/ g de croît, soit des besoins supérieurs de 25% à ceux recommandés par le NRC (1981). Il a été observé que cette augmentation serait liée en partie à l'âge plus avancé et au sexe des animaux utilisés ainsi qu'aux dépenses énergétiques supplémentaires de ces animaux, liées à la lutte contre le froid en zone tempérée (SANGARE, 2005).

En ce qui concerne les recherches effectuées sur les autres races locales africaines, ABATE (1989) ayant conduit des travaux sur des chèvres kenyanes confinées et âgées de 7 mois et d'un poids allant de 13 à 18 kg, a obtenu une valeur de 27 kJ EM/ g de croît, avec une efficacité de 35,8% d'utilisation de l'EM. Cette valeur est similaire à celle de 28 kJ EM/ g de croît rapporté par KEARL (1982), suite à des recherches axées sur les ruminants des pays en développement. Quant à LU et POTCHOIBA (1990) qui ont réalisé leurs travaux sur les races nubiennes, les besoins de croissance obtenus (25,46 kJ EM/ g de croît) par ces derniers, ont été inférieurs de 33% par rapport à ceux recommandés par NRC (1981). Selon ces auteurs, cet écart serait dû à la sous-estimation des besoins énergétiques d'activités (pâturage, mobilité, etc.).

Sur la base des équations de prédiction (EMI par rapport à gain de poids vif) à partir de 60 observations issues de 11 publications totalisant 548 chèvres à viande, 116 observations issues de 25 publications totalisant 1581 chèvres laitières et 157 observations issues de 34 publications provenant d'études ayant concerné 1024 chèvres indigènes, LUO et *al.* (2004) ont déterminé les besoins d'énergie de croissance de

l'ordre de 13,4 kJ ; 23,1 kJ ; 23,1 kJ ; 19,8 kJ et 28,5 kJ par g de croît pour respectivement les chèvres non sevrées, les chèvres à viande en croissance, les chèvres laitières en croissances, les chèvres indigènes en croissances et les chèvres adultes. Ces valeurs ont été affinées grâce aux travaux de SALAH *et al.* (2014) qui ont permis de retenir la valeur de référence de 24,3 kJ EM comme l'énergie nécessaire pour un gain de poids de 1 g, aussi bien pour les ovins que pour les caprins dans les pays tropicaux et chauds.

3.2.2. Besoins énergétiques de gestation

Les besoins énergétiques de gestation tiennent compte du poids de l'animal et du ou des fœtus. Ils sont pris en compte durant les deux derniers mois de gestation, période durant laquelle ils augmentent avec le développement fœtal jusqu'à la mise bas. En effet, la gestation chez la chèvre d'une durée de cinq mois ($153 \text{ j} \pm 10$) peut être divisée en deux phases :

- le début de gestation (les trois premiers mois) durant laquelle le fœtus et ses annexes se développent lentement et ne nécessitent pas d'apports recommandés supplémentaires (GADOUD *et al.*, 1992).
- la fin de gestation (les deux derniers mois) durant laquelle, la croissance du ou des fœtus et celle de ses annexes sont importantes, nécessitant l'ajout des besoins de croissance du ou des fœtus aux besoins d'entretien (GADOUD *et al.*, 1992).

C'est à partir de ces deux principales phases physiologiques que TISSIER et THERIEZ (1978), utilisant la méthode factorielle d'un modèle construit à partir des brebis, ont estimé que les besoins de gestation de la chèvre devraient être majorés de 13 et 25 % par rapport à l'entretien, respectivement au cours des 4^e et 5^e mois de gestation. A partir de la différence entre les besoins d'entretien ($424,17 \text{ kJ EM} / \text{kg PV}^{0,75}$) et deux valeurs expérimentales suggérées pour la gestation dont celle de $726,34 \text{ kJ EM} / \text{kg PV}^{0,75}$ rapportée par AKINSOYINU *et al.* (1978) et celle de $757,05 \text{ kJ EM} / \text{kg PV}^{0,75}$ communiquée par RAJPOOT (1979), NRC (1981) a recommandé une valeur de besoins énergétiques additionnels liés à la gestation de 5,94 MJ d'EM. Cette norme est similaire aux recommandations françaises (MORAND-FEHR et SIMIANE, 1977).

3.2.3. Besoins énergétiques de lactation

Les besoins de production laitière des races tempérées sont estimés à $5213,76 \text{ kJ EM} / \text{kg}$ de lait avec un Taux Butyreux (TB) compris entre 2,5 et 6,0%, tandis que ceux des chèvres de races tropicales sont évalués à $7238,32 \text{ kJ EM} / \text{kg}$ lait à 3,5% TB (NRC, 1981). Ces écarts importants de besoins semblent être liés à la particularité d'un produit tel que le lait dont la production en qualité reste très influencée par la richesse de la ration. Le lait de chèvre standard (race tempérée) présente des teneurs de 35, 31 et 45g/kg respectivement pour les lipides, les protéines et le lactose. Ces valeurs correspondent à une teneur en énergie nette de 2,86 MJ/kg (INRA, 2018). Le lait des

racres locales tropicales possède des taux protéiques et butyreux globalement supérieurs à ceux du lait des races tempérées (LE GAL et PLANCHENAU, 1993).

Plus récemment, INRA (2018) a fourni deux équations pour la prédiction des besoins énergétiques de lactation exprimés en unité fourragère lait (UFL). La plus précise tient compte du TB, du Taux protéique (TP) et de la Production laitière (PL). Ainsi :

$$\text{Besoин UFL}_{\text{PL}} = \text{PL} \times [0,389 + 0,0052 \times (\text{TB} - 35) + 0,0029 \times (\text{TP} - 31)]$$

4. Discussion sur l'état de connaissance des besoins énergétiques des caprins de races tropicales et de ceux des races tempérées

A l'instar des autres ruminants dans les zones tropicales, les besoins nutritionnels des caprins de races locales sont pour la plupart calqués sur les besoins des races tempérées (SALAH et al., 2014). Toutefois, en raison des spécificités génétiques et des systèmes d'élevage, les besoins nutritionnels des animaux d'élevage dans les régions tropicales chaudes diffèrent bien de ceux des animaux des pays tempérés (NRC, 2007 ; INRA, 2018). En effet, DERNO et al. (2005) ont relevé que les besoins énergétiques d'entretien peuvent varier de 10 à 30 % en raison des différences génétiques. Ainsi, deux idées ou thèses fondamentales, soutenues chacune par de nombreux auteurs, se défendent en la matière.

La première tendance est en faveur de besoins en énergie des races locales tropicales supérieurs à ceux des races tempérées. Cette tendance est soutenue par un certain nombre d'auteurs tels que SALAH et al. (2014). Ces derniers ont trouvé des résultats supérieurs de plus de 25% aux normes recommandées en 1981 par le NRC. Les facteurs qui concourent à expliquer cet état de fait sont aussi bien intrinsèques (propres à l'animal), qu'extrinsèques (liés aux conditions de productions).

L'impact du génotype sur les besoins énergétiques chez les ruminants a fait l'objet de nombreux travaux (SILVA et al., 2016). Les génotypes tropicaux sont essentiellement indigènes. Ils n'ont pas fait l'objet de sélection pour la production de muscle si bien qu'ils produisent plus de graisse que les génotypes tempérés. Le coût énergétique par kg de gain de lipides étant supérieur à celui des protéines, contribuerait à justifier que les besoins énergétiques des races tropicales soient supérieurs à ceux des races tempérées (OLIVEIRA et al., 2017, citant EARLY, et al., 2001).

Par ailleurs, les races locales ont généralement un gabarit plus faible que celui des races tempérées. En effet, les ruminants présents en régions chaudes ont tendance à être de plus petit format par rapport à leurs homologues des régions tempérées (MANDONNET et al., 2011), car l'amélioration du rapport surface/poids vif chez les animaux de petite taille leur permet de dissiper la chaleur plus efficacement (SILANIKOVE, 2000). En effet, SILANIKOVE (2000) citant BERGMANN (1847), rapporte que pour une même espèce, les races de petite taille se retrouvaient dans les régions chaudes tandis que

celles de plus grandes tailles se retrouvaient dans les régions plus froides. Or, le gabarit des animaux constitue un facteur déterminant sur leur métabolisme de base qui paraîtrait plus élevé chez les sujets de petite taille (RIVIERE, 1991). Et de facto, on en déduit que les races locales, de plus petits gabarits, ont un métabolisme de base et donc des besoins de maintenance par poids métabolique plus élevés que les races tempérées.

En outre, les conditions de productions dans les zones tropicales sont caractérisées par une température élevée, souvent couplée à une forte hygrométrie (INRA, 2018). Il s'avère que dans les climats chauds, l'énergie nécessaire à la dissipation de chaleur corporelle augmente, ce qui accroît les besoins énergétiques des animaux (RIVIERE, 1991 ; OLIVEIRA et al., 2017 citant CSIRO, 2007). Cette modification des besoins énergétiques due à l'interaction entre l'animal et son environnement, concerne en premier lieu les besoins d'entretien et en second lieu les besoins de production (OLIVEIRA et al., 2017, citant FOX et TYLUTKI, 1998). Par ailleurs, la spécificité de l'alimentation aurait un effet sur les besoins des races tropicales. En effet les ressources alimentaires tropicales sont plus riches en fibres que celles tempérées. Ce qui entraîne un intense travail de mastication, se traduisant par une augmentation des besoins énergétiques d'entretien pouvant atteindre 10% (INRA, 2018). Il faudra également prendre en compte une production élevée de chaleur corporelle liée aux activités physiques de pâturages et d'ingestion des ressources alimentaires.

Le second courant de pensée soutient l'idée que les besoins énergétiques des races locales en milieu tropical sont inférieurs aux besoins des races tempérées. Là également, plusieurs facteurs explicatifs soutiennent cette tendance.

Les races locales sont essentiellement indigènes et leurs performances restent inférieures à celles des génotypes améliorés, sélectionnés et élevés dans les régions tempérées (INRA 2018). Or, l'énergie de maintenance est positivement corrélée au potentiel génétique de production (NRC, 2000). Les travaux de LUO et al. (2004) tendent à confirmer cette tendance. En effet, il est ressorti de leurs travaux que les besoins de maintenance des races indigènes étaient inférieurs à ceux des races à viande et dans une plus grande mesure à ceux des races laitières.

Pour ce qui est de l'impact des conditions de production sur les besoins nutritionnels, plusieurs aspects peuvent être pris en compte. Dans un premier temps, l'environnement thermique a un effet marqué sur la sécrétion des hormones thyroïdiennes, précisément la thyroxine-T3 et la triiodothyronine-T4 (OLIVEIRA et al., 2017, citant SILVA et al., 2005). Cette réduction de sécrétions est associée à une diminution du taux métabolique, entraînant une diminution des besoins d'entretien (OLIVEIRA et al., 2017).

Dans un second temps, les températures élevées ont un effet sur le comportement alimentaire, entraînant une réduction de la prise alimentaire (VILANOVA et SMITH, 2014). Cette baisse de la consommation a pour but de réduire la production de chaleur

dans les climats chauds (ATTIA, 2016). La réduction de la consommation chez les races tropicales est également soutenue par la qualité de l'alimentation. En effet, la différence de climat a un impact sur la qualité des aliments mise à disposition des animaux. Les systèmes d'élevage chez les herbivores en Afrique sont largement tributaires des prélèvements directs sur la végétation spontanée et cultivée (VALL et *al.*, 2014). Chez les caprins en particulier, les systèmes d'élevage sont majoritairement extensifs (MISSOHOU et *al.*, 2016). Au Burkina Faso, l'utilisation d'intrants est faible (MRA, 2011) et la principale ressource alimentaire est le pâturage naturel (BOSNA et BICABA, 1997). Ces pâturages en zone tropicale sont majoritairement constitués de graminées qui ont une photosynthèse de type C4 contrairement à celle de type C3 des climats tempérés. Ces graminées de type C4, sont globalement plus pauvres en sucres solubles et en protéines brutes et plus riches en fibres (INRA, 2018). Il en résulte une ingestion volontaire inférieure comparée aux graminées de type C3, du fait notamment, d'un indice mastication plus élevé et un temps de rétention dans le rumen plus élevé (ASSOUMAYA et *al.*, 2007). Or, le niveau d'ingestion est positivement corrélé aux besoins énergétiques (NRC, 2007). Les races tropicales en raison d'une ingestibilité inférieure liée notamment, à la qualité des fourrages et aux fortes températures ambiantes, auraient donc des besoins énergétiques inférieurs à celles des races tempérées (LUO et *al.*, 2004).

A l'issue de cette analyse comparée, il ressort que les facteurs explicatifs des différences entre les besoins des races tropicales et tempérées justifient deux tendances antagonistes. Dès lors, il s'avère judicieux de prédire avec précision les besoins des races tropicales par rapport à celles tempérées. Il faut nécessairement entreprendre des travaux pour la détermination de ces besoins.

Conclusion

La présente synthèse bibliographique a permis de mettre en exergue une faible disponibilité de données spécifiques sur les besoins nutritionnels et énergétiques des caprins de races locales africaines. Une première explication plausible de cette situation reste la faible disponibilité de moyens (financiers, matériels et humains) nécessaires à la mise en œuvre des méthodes de détermination des besoins énergétiques sur ces animaux. En effet, il ressort de la présente revue que l'application des méthodes calorimétrique et d'abattages comparatifs requiert des coûts élevés en termes d'équipement, d'installations, de main-d'œuvre et/ou d'analyse. Quant à l'utilisation des méta-analyses, elle n'est appropriée que lorsque les données spécifiques sont disponibles en quantité et en qualité. Or, dans un contexte de croissance exponentielle de la demande en produits AOA, particulièrement dans un pays tel que le Burkina Faso, il s'avère urgent de tout mettre en œuvre pour impulser une nouvelle dynamique des systèmes d'élevage. Cela passera nécessaire par la détermination des besoins

nutritionnels de nos races locales et de leur maîtrise dans nos plans de production. Pour ce faire, le recours et l'appropriation des nouvelles techniques et technologies telles que le GreenFeed (GF) constituerait une des voies appropriées pour combler ce déficit de recherche sur la détermination des besoins énergétiques de nos races locales. L'utilisation du GF est par ailleurs non destructive et elle permet d'éviter certains facteurs de biais causés notamment par l'utilisation d'animaux à jeun, ou les erreurs d'échantillonnage. Son appropriation dans nos régions pourrait aisément être facilitée par les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) telles que l'internet, visioconférence, etc.

Références bibliographiques

- ABATE A., 1989. Metabolizable energy requirements for maintenance of Kenyan goats. *Small Ruminant. Research*, **4** (2): 299-306. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(89\)90025-4](https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90025-4)
- ADESOGAN A. T., HAVELAAR A. H., MCKUNE S. L., EILITTÄ M., DAHL G. E., 2020. Animal source foods: Sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, **100325** (25) :1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100325>
- AGNEW R. E. ET YAN T., 2005. Calorimetry. In «Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd ed» DIJKSTRA, J., Forbes, J., France, J., CAB International, University Press: Cambridge, UK, p. 421–444.
- AKINSOYINU A. O., 1974. Studies on protein and energy utilization by the West African dwarf goats. Ph.D. thesis. University of Ibadan, Ibadan, Nigeria, 206 p.
- ASSOUMAYA C, SAUVANT D, ARCHIMEDE H. 2007. Etude comparative de l'ingestion et de la digestion des fourrages tropicaux et tempérés. *Productions animales, Institut National de la Recherche Agronomique*, **20** (5) : 383-392.
- ATTIA N. E. S., 2016. Physiological, Hematological and Biochemical Alterations in Heat Stressed Goats. *Benha Veterinary Medical Journal*, **2** (31): 56–62. DOI: <https://doi.org/10.21608/bvmj.2016.31261>
- BALEHEGN M., KEBREAB E., TOLERA A., HUNT S., ERICKSON P., CRANE T. A., ADESOGAN A. T., 2021. Livestock sustainability research in Africa with a focus on the environment. *Animal Frontiers*, **4** (11). DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfab034>
- BALTENWECK I., ENAHORO D., FRIJA A., TARAWALI S., 2020. Why Is Production of Animal Source Foods Important for Economic Development in Africa and Asia? *Animal Frontiers*, **4** (10). DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfaa036>

- BECKER K. et LOHRMANN J., 1992. Feed selection by goats on tropical semi-humid rangeland. *Small Ruminant Research*, **4** (8): 493-504. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(92\)90210-U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(92)90210-U)
- BOSMA R. H. et BICABA M. Z. 1997. Effect of addition of leaves from *Combretum aculeatum* and *Leucaena leucocephala* on digestion of Sorghum stover by sheep and goats. *Small Ruminant Research*, **3** (24): 167-173. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00945-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00945-5)
- CHETROIU R., CALIN I., NICULUSCU G. C., 2013. Worldwide trends and orientations of raising goats. In « Agrarian economy and rural development – realities and perspectives for Romania », TUREK - RAHOVEANU A. et ANDREI J., University Library of Munich, Munich, Germany, p. 100-106.
- CHUNLEAU Y., 1995. Manuel pratique d'élevage caprin sur la rive sud de la méditerranée. UCARDEC, Paris, France, 123p.
- CLUB DU SAHEL, 2008. Elevage et marché régional au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Potentialités et défis. CSAO-OCDE, CDAO, Paris, France, 182p.
- DEVENDRA C., 1967. Studies in the nutrition of the indigenous goat of Malaysia. III. The requirements for live weight gain. *Malaysian Agricultural Journal*, (46) :98-118.
- GARRETT W. N., MEYER J. H., LOFGREEN G. P., 1959. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, **2** (18) :528-547. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1959.182528x>
- GADOUD R., JOSEPH M. M., JUSSIAU R., LESBERNEY M. J., MONGEOL B., MONTMEAS L., TARRIT A., 1992. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage : Tome 2. Les éditions Foucher, Paris, France, 921p.
- GNANDA B. I., 2008. Importance socio-économique de la chèvre du Sahel burkinabé et amélioration de sa productivité par l'alimentation, thèse de doctorat, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 178p.
- GNANDA B. I., ZOUNDI S. J., NIANOGO J. A., MEYER C., ZONO O., 2005. Test d'un complément minéral et azoté sur les paramètres de reproduction de la chèvre du Sahel burkinabé. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, **58** (4) : 257-265.
- GOETSCH A. L., PUCHALAA R., DOLEBO A. T., GIPSO T. A., TSUKAHARA Y., DAWSON L. J., 2016. Simple methods to estimate the maintenance feed requirement of small ruminants with different levels of feed restriction. *Journal Of*

- HAMMOND K. J., WAGHORN G. C., and HEGARTY R. S., 2016. The GreenFeed system for measurement of enteric methane emission from cattle. *Animal Production Science*, **56** (3): 181–189, DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/AN15631>
- HATENDI P. R., NDLOVU L. R., SMITH T., SAID A. N., 1994. Metabolisable energy requirements for maintenance and growth of castrate Zimbabwean (Matabele) goats offered diets differing in roughage content either ad libitum or restricted. In « Small Ruminant Research and Development in Africa. Proceedings of the Second Biennial Conference of the African Small Ruminant Research Network, AICC, Arusha, Tanzania, 7-11 December 1992 » LEBBIE S. H. B., REY B., IRUNGU E. K., ILCA (International Livestock Centre for Africa)/ CTA (Technical Centre for Agricultural and Rural Co-operation). ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, p. 191-196.
- HRISTOV A. N., OH J., GIALLONGO F., FREDERICK T., WEEKS H., ZIMMERMAN P.R., HARPER M.T., HRISTOVA R.A., ZIMMERMAN R.S., BRANCO A.F., 2015. The Use of an Automated System (GreenFeed) to Monitor Enteric Methane and Carbon Dioxide Emissions from Ruminant Animals. *Journal of Visualized Experiments*. (103):52904, DOI: <http://dx.doi.org/10.3791/52904> (2015).
- HRISTOV A. N., KEBREAB E., NIU M., OH J., BANNINK A., BAYAT A. R., BOLAND T. B., BRITO A. F., CASPER D. P., CROMPTON L. A., DIJKSTRA J., EUGENE M., GARNSWORTHY P. C., HAQUE N., HELLOWING A. L. F., HUHTANEN P., KREUZER M., KUHLA B., LUND P., MADSEN J., MARTIN C., MOATE P. J., MUETZEL S., MUNOZ C., PEIREN N., POWELL J. M., REYNOLDS C. K., SCHWARM A., SHINGFIELD K. J., STORLIEN T. M., WEISBIERG M. R., YANEZ-RUIZ D. R., YU Z., 2018. Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *Journal of Dairy Science*. **101** (7) :6655–6674. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13536>
- HUHTANEN P., RAMINA M., HRISTOC A.N., 2019. Enteric methane emission can be reliably measured by the GreenFeed monitoring unit. *Livestock Science*. (222): 31–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.017>
- ILRI, 2019. Options for the livestock sector in developing and emerging economies to 2030 and beyond. Meat: the future series. World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 28p. <https://hdl.handle.net/10568/99006>
- INRA, 2018. Alimentation des ruminants, Editions Quæ, Versailles, France, 728p.
- JAYANEGARA A., RIDLA M., ASTUTI D. A., WIRYAWAN K. G., LACONI E. B., NAHROWI N., 2017. Determination of Energy and Protein Requirements of Sheep

in Indonesia using a Meta-Analytical Approach. *Media Peternakan*, **40** (2):118-127. DOI: <https://doi.org/10.5398/medpet.2017.40.2.118>

- KAIYALA K. J. et RAMSAY D. S., 2011. Direct animal calorimetry, the underused gold standard for quantifying the fire of life. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. **158** (3):252-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.013>
- KEARL L. C., 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. Ph.D. thesis, Animal Science, Utah State University, Utah, USA, 407p. DOI: <https://doi.org/10.26076/6328-a024>
- KESSLER J., DACCORD R., ARRIGO Y., 2017. Chapitre 12 : Apports alimentaires recommandés pour la chèvre. In « Apports alimentaires recommandés pour les ruminants (Livre vert) », Agroscope, Posieux, Suisse, p. 1-14
- KIRKPATRICK D. E., STEEN R. W. J., UNSWORTH E. F., 1997. The effect of differing forage: concentrate ratio and restricting feed intake on the energy and nitrogen utilization by beef cattle. *Livestock Production Science*, **1-3** (51): 151–164. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00099-7)
- LE GAL O. et PLANCHENAULT D., 1993. Utilisation des races caprines exotiques dans les zones chaudes : contraintes et intérêts. CIRAD-EMVT, Maisons-Alfort, France, 261 p.
- LOFGREEN G.P., 1965. A comparative slaughter technique for determining net energy values with beef cattle. In « Energy Metabolism » BLAXTER K. L., Academic Press, London, UK, p. 309–317.
- LU C. D. et POTCHOIBA M. J., 1990. Feed intake and weight gain of growing goats fed diets of various energy and protein levels. *Journal of Animal Science*, **6** (68):1751-1759. DOI: <https://doi.org/10.2527/1990.6861751x>
- LUO J., GOETSCH A. L., SAHLU T., NS AHLAI I. V., JONHSON Z. B., MOORE J. E., GALYEAN M. L., OWENS F. N., FERRELL C. L., 2004. Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing and mature goats. *Small Ruminant Research*., **3** (53): 231–252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.006>
- MA T., DENG K. D., TU Y., ZHANG N. F., ZHAO Q. N., LI C. Q., JIN H., DIAO Q. Y., 2022. Recent advances in nutrient requirements of meat-type sheep in China: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, **1** (21): 1-14. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63625-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63625-0)
- MANDONNET N., TILLARD E., FAYE B., COLLIN A., GOURDINE J. L., NAVES M., BASTIANELLI D., TIXIER-BOICHARD M., RENAUDEAU D., 2011.

Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaudes. *Productions Animales*, **24** (1) : 41-64.

- MARTIN C., ROCHETTE Y., HUMPHRIES D., RENAND G., 2020. Greenfeed system. In « Methods in cattle physiology and behaviour – Recommendations from the SmartCow consortium » MESGARAN S. D., BAUMONT R., MUNKSGAARD L., HUMPHRIES D., KENNEDY E., DIJKSTRA J., DEWHURST R., FERGUSON H., TERRE M., KUHLA B., Publisso, Cologne, Allemagne, DOI: <https://doi.org/10.5680/mcpb012>.
- MC GINN S. M., COULOMBE J. F., BEAUCHEMIN K. A. 2021. Technical note: validation of the GreenFeed system for measuring enteric gas emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, **3** (99) :1–6. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skab046>.
- MC GRATH J, DUVAL SM, TAMASSIA LFM, KINDERMANN M, STEMMLER RT, DE GOUVEA VN, ACEDO TS, IMMIG I, WILLIAMS NS, CELI P. 2018. Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. *Research in Veterinary Science*, (116): 28-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.09.011>
- MC GREGOR B. A., 2005. Nutrition and management of goats in drought. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia, 100p
- MEDEIROS A. N., RESENDE K. T., TEIXEIRA I. A. M. A., ARAÚJO M. J., YÁÑEZ E. A., FERREIRA A. C. D., 2014. Energy Requirements for Maintenance and Growth of Male Saanen Goat Kids. *Asian Australasian Journal Animal Sciences*, **9** (27): 1293-1302. DOI: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13766>
- MINISTERE DES RESSOURCES ANIMALES ET HALIEUTIQUES (MRAH), 2021. Enquête Nationale sur le Cheptel (ENC1) 2019. Rapport d'analyse. Décembre 2021, Ouagadougou, Burkina-Faso, 89p.
- MINISTERE DES RESSOURCES ANIMALES (MRA)/ PNUD. 2011. Contribution de l'élevage à l'économie et à la lutte contre la pauvreté, les déterminants de son développement. Ministère des ressources animales, Ouagadougou, Burkina-Faso, 80p.
- MISSOHOU A., NAHIMANA G., AYSSIWEDE S. B., SEMBENE M., 2016. Goat breeding in West Africa: A review. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, **69** (1) : 3-18. DOI : <http://dx.doi.org/10.19182/remvt.31167>
- MORAND-FEHR P. et SIMIANE M., 1977. L' alimentation de la chèvre (Nutrition of the goat) In « Proceedings, Symposium on Goat Breeding in Mediterranean Countries, October 3-7, 1977, Malaga, Spain », INRA Publications, Paris, France, p. 101-145.
- MORAND-FEHR P. et SAUVANT D., 1978. Chapitre 15 : Caprins, In « Alimentation des ruminants », INRA Publications, Versailles, France, p. 449-467.

- NRC, 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, dairy, and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press, Washington DC, USA, 100 p.
- NRC, 2000. Nutrient requirements of beef cattle (update 2000). National Academy Press, Washington DC, USA, 248p. DOI: <https://doi.org/10.17226/9791>.
- NRC, 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. National Academy Press, Washington DC, USA, 384p. DOI: <https://doi.org/10.17226/11654>.
- OKAGBARE G. O., NWOKORO S. O., ONAGBESAN O. M., 2004. Protein and energy requirements of pre-weaned West African Dwarf goats fed soyabean diet as a replacement for milk in a tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, **36** (6): 547-555. DOI: <https://doi.org/10.1023/b:trop.0000040929.35558.47>.
- OLIVEIRA A. P., PEREIRA E. S., BIFFANI S., MEDEIROS A. N., SILVA A. M. A., OLIVEIRA R. L., MARCONDES M. I., 2017. Meta-analysis of the energy and protein requirements of hair sheep raised in the tropical region of Brazil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **1** (102): 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12700>
- OLIVEIRA A. S., 2015. Meta-analysis of feeding trials to estimate energy requirements of dairy cows under tropical condition. *Animal Feed Science and Technology*, (210):94-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.006>
- OUERMI W. S. O., 2018. Caractéristiques physico-chimiques et potentiel alimentaire d'une formule de Bloc Multi Nutritionnel (BMN) en voie de stabilisation au profit des éleveurs membres du groupement Azawak « Kossam Bodedji » de Dori, Thèse de master, IDR/UNB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 67p.
- POSADA-OCHOA S. L., NOGUERA R. R., RODRÍGUEZ N. M., COSTA A. L., REIS R., 2017. Indirect calorimetry to estimate energy requirements for growing and finishing Nellore bulls. *Journal of Integrative Agriculture*, **16** (1): 151–161. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61443-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61443-0)
- RAJPOOT R. L., 1979. Energy and protein in goat nutrition. Ph.D. thesis. Raja Balwant Singh College, Bichpuri (Agra), India. 80p
- RIVIERE R., 1991. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Ministère de la coopération et du Développement, Paris, France, 556 p.
- ROBINSON S., MASON-D'CROZ D., ISLAM S., SULSER T. B., ROBERTSON R. D., ZHU T., GUENEAU A., PITOIS G., ROSEGRANT M. W., 2015. The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade

(IMPACT): Model description for version 3. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington D.C, USA, 128p.

- SALAH N., SAUVANT D., ARCHIMÈDE H., 2014. Nutritional requirements of sheep, goats and cattle in warm climates: a meta-analysis. *Animal*, **9** (8):1439-1447 : <https://doi.org/10.1017/S1751731114001153>
- SAHLU T., GOETSCH A. L., LUO J., NSAHLAI I. V., MOORE J. E., GALYEAN M. L., OWENS F. N., FERREL C. L., JOHNSON Z. B., 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research*, **3** (53): 191-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.04.001>
- SANGARE M., 2005. Synthèse des résultats acquis sur l'élevage des petits ruminants dans les systèmes de production animale d'Afrique de l'Ouest. URPAN, CIRDES, Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso 165p.
- SAUVANT D., LETOURNEAU-MONTMINY L., SCHMIDELY P., BOVAL M., LONCKE C., DANIEL J., 2019. Review: Use and misuse of meta-analysis in Animal Science. *Animal*, **2** (14):207-222. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120001688>
- SAUVANT D. et MORAND-FEHR P., 1991. Energy requirements and allowances of adults' goats. In « Goat Nutrition», MORAND-FEHR P., EAAP Publ. No.46, Pudoc, Wageningen, Netherland p. 61-72
- SEOL Y. J., KIM K. H., BAEK Y. C., LEE S. C., OK J. U., LEE K. Y., HONG S. K., JANG S. S., CHOI C. W., SONG M. K., LEE S. S., OH Y. K., 2011. Determination of maintenance energy requirements for growing Hanwoo steers. *Journal of Animal Science and Technology*, **2** (53): 155–160. DOI: <https://doi.org/10.5187/JAST.2011.53.2.155>
- SILANIKOVE N., 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Ruminant Research*, **35** (3): 181-193. DOI: [https://doi.org/10.1016/S09214488\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S09214488(99)00096-6)
- SILVA A. L., MARCONDES M. I., DETMANN E., CAMPOS M. M., MACHADO F. S., VALADARES FILHO S. C., CASTRO M. M. D., DIJKSTRA J., 2016. Determination of energy and protein requirements for crossbred Holstein × Gyr preweaned dairy calves. *Journal Dairy Science*, **2** (100) :1170–1178. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11197>
- SILVA R. R., BORGES A. L. C. C., CARVALHO P. H. A., SOUZA A. S., VIVENZA P. A. D., DA SILVA J. S., LAGE H. F., FERREIRA A. L., GONÇALVES L. C., SALIBA E. O. S., BORGES I., CAMPOS W. E., NORBERTO MARIO RODRIGUEZ N. M., 2018. Respirometry and Ruminant Nutrition. In «Animal

Husbandry and Nutrition», YÜCEL B. et TAŞKIN T., IntechOpen, London, UK, p.171-190. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73009>

- TISSIER M, et THERIEZ M., 1978. Les ovins. In « INRA, 1978 Alimentation des ruminants », INRA, INRA Publications, Versailles, France, p.403-448.
- VALL E., SALGADO P., CORNIAUX C., BLANCHARD M., DUTILY C., ALARY V., 2014. Changements et innovations dans les systèmes d'élevage en Afrique. *INRAE Productions Animales*, **27** (2): 161–174. DOI : <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.2.3064>
- VILANOVA M. I. et SMITH A. J., 2014. Comportement, conduit et bien-être animal. Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 187p.
- ZHAO J., MA X., JIN Y., SU R., LIU W., REN Y., ZHANG C., ZHANG J., 2016. Energy requirements for the maintenance and growth of Dorper-Jinzhong crossbred ram lambs. *Italian Journal of Animal Science*, **1** (15): 94-102. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1147336>
- ZEMMELINK G., TOLKAMP B. J., MEINDERTS J. H., 1985. Feed intake and weight gain of West African Dwarf goats. In « Sheep and goats in humid west Africa». SUMBERG J. E. et CASSADAY K., International. Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia, p. 29 -33.
- ZEMMELINK G., TOLKAMP B. J., OGINK N. W. M., 1991. Energy requirements for maintenance and gain of West African Dwarf Goats. *Small Ruminant Research*, **3** (5) :205-215. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(91\)90125-A](https://doi.org/10.1016/0921-4488(91)90125-A)